Vol.2022-AL-186 No.1
2022/1/27

複数の島群に対するラベル配置アルゴリズム（2021年12月24日版）

原田 尚達[1,a)]　今井 桂子[2]

概要：本論文では，複数の島の集合である島群に対して，それらに付加情報を与えるラベルを適切な位置に配置するラベル配置問題を考える．現在島群に対してのラベル配置問題では，1つの島群を対象とした研究は行われているが，複数の島群を対象とした研究はあまりなされていない．そこで本研究では，複数の島群に対して適切な位置にラベルを配置できる領域を作成し，各島群に対して適切な位置にラベルを配置するアルゴリズムの提案を行う．さらにそれらのアルゴリズムを実際の島群のデータに適用し，アルゴリズムの有用性を考察する．

Label Placement Algorithm for Islands (version 2021/12/24)

1. はじめに

地図やグラフなど，ある対象物に対してそれらに付加情報を与えるラベルを適切な位置に配置する問題をラベル配置問題という．ラベル配置問題は，例えば地図上の道路や建物，土地などに自動で名称を配置する目的で研究されている．他にもラベル配置の対象や用途によって様々な研究がなされているが，適切な位置に配置する多くの最適化問題はほとんどの場合 NP 困難問題であることが証明されている．

ラベル配置問題では，ラベル配置場所の最適性に厳密な定義はされていない．しかし，ほとんどの場合で以下の制約を満たす配置位置が適切とされている．

- ラベルは他のラベルや対象物と重なってはいけない
- ラベルはそれが指し示す対象物が明白となる位置に配置されなければならない

現在，国土地理院の公開している地理院地図において，各島に対して手動でラベル配置を行っているため，拡大縮小に対応できていない部分がある．そこで本研究では複数の領域の集合である島群に対して，それらを表す1つのラベルを配置するラベル配置問題を考える．

2. 島群に対するラベル配置問題

島群に対するラベル配置問題では，1つの島群に対する研究はなされているが，複数の島群を考慮した，研究はあまりなされていない．そこで本研究では，近隣にある複数の島群を考慮した島群に対するラベル配置問題を考える．

本研究では島を単純多角形，島群を島の集合，ラベルを文字全体を囲む大きさの長方形として考える．ラベルを直線や曲線をラベルとみなす研究もなされているが [2]，本研究ではラベルと島の重なりを考慮するため，ラベルを文字を覆うことのできる大きさの長方形とみなす．

島群に対するラベル配置問題ではラベル配置の対象となる島群のまわりに，他の島群があるような場合のアルゴリズムはあまり研究されていない．しかし入力が対象となる島群のみである場合では，図1のように重なりを許可せずに水平方向のラベルを配置する手法が考案されている [4]．さらに図2のようにラベルを長方形ではなく直線や曲線とみなし，島との重なりを許可せずに配置する手法の研究も行われている [2]．

1 中央大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻
Chuo University, Kasuga, Bunkyo, Tokyo 112–8551, Japan
2 中央大学
a) hardnot0731@gmail.com

ⓒ 2022 Information Processing Society of Japan

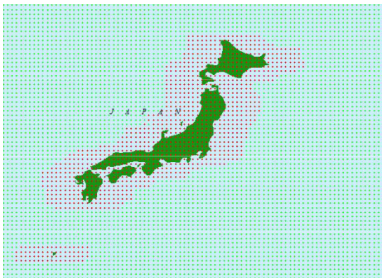


図 1: 水平方向のラベル配置例 [4]

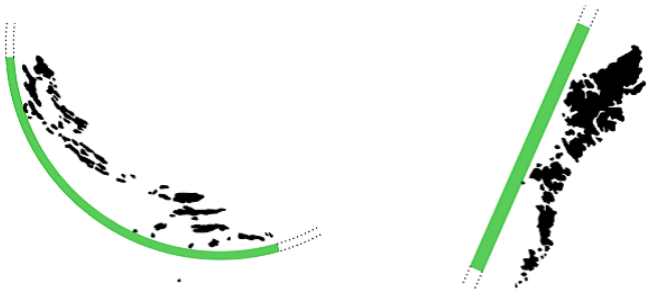


図 2: 直線や円状のラベル配置例 [2]

3. 領域に対するラベル配置

本研究では複数の島群を考慮したラベル配置を行うために，領域の内部にラベルを配置するアルゴリズム [1] を応用する．そこで，まず [1] に提案されている領域内部にラベルを配置するアルゴリズムの説明を行う．

3.1 領域に対するラベル配置問題の定式化

領域の境界から最も離れた位置にラベルを配置することを考える．

領域を表す多角形 P とラベルを表す長方形 L が与えられているとする．L の参照点 l を長方形の左下の点とする．L の参照点 l を P 内の点 q に一致するように平行移動によって置いたときのラベルを $L_{(q)}$ とする．$L_{(q)}$ と P との距離 $d(L_{(q)}, P)$ を，

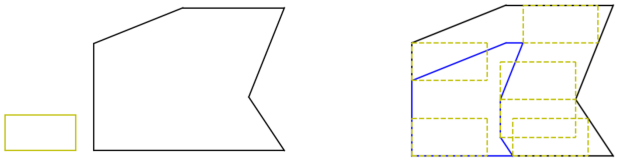
$$d(L_{(q)}, P) = \min\{d_E(r, p) | r \in L_{(q)}, p \in P\}$$

とする．領域に対するラベル配置問題は $d(L_{(q)}, P)$ が最大になるような q を求め，その q に l が一致するように L を配置する問題である．

3.2 配置可能領域

次に領域 P とラベル L に対して，ラベル L の参照点を領域内のどこに配置しても，ラベル L が領域 P の内部または境界上に存在するような領域を作成する．このような領域は，領域 P とラベル L に対して配置可能領域 [1] を計算することにより求められる．配置可能領域の内部にラベルの参照点を配置することで，ラベル全体が領域の内部に含まれる位置にラベルを配置することができる．配置可能領域は計算幾何で知られている Minkowski 和 [3] を応用して求められる．

図 3(a) のような領域とラベルに対して配置可能領域を作成したものを 3(b) の青線で示している．このときラベルの参照点を左下の頂点とし，ラベルの参照点が配置可能領域内のどの場所にあってもラベルは領域内部に存在する．



(a) 領域とラベル　　(b) 配置可能領域

図 3: 配置可能領域の例

3.3 多角形の辺に対する Voronoi 図

領域の内部かつ，領域の境界から最も遠い場所にラベルを配置するために，領域の境界を構成する各線分を開線分とみなし，これらの線分に対して Voronoi 図を作成する．Voronoi 図は各線分から等距離の線分を描いたものであるため，Voronoi 点のいずれかは各線分から最も遠い場所に位置している．図 4 の青線で示す多角形の各辺に対して，Voronoi 図を作成したものを緑線で示している．

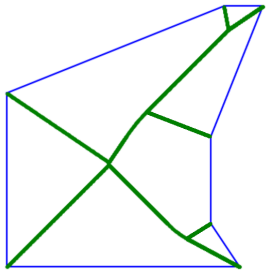


図 4: 多角形の各辺に対する Vorono 図

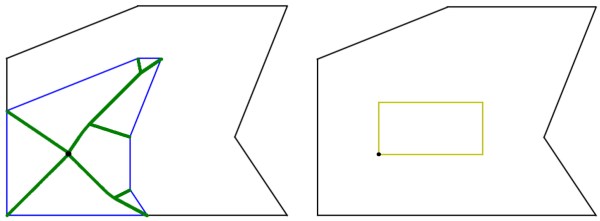
3.4 領域に対するラベル配置アルゴリズム

入力として多角形 P，ラベルを表す長方形 L が与えられる．領域に対するラベル配置アルゴリズムは以下のように動作する．

まず多角形 P に対して配置可能領域を作成する．その後配置可能領域に対して多角形の辺に対する Voronoi 図を作成する．作成した Voronoi 図の Voronoi 点の中で，配置可能領域の各線分との距離が最大の Voronoi 点を求める．その後，長方形 L の参照点をさきほど求めた Voronoi 点と一致するように平行移動させる．

図 5(a) は実際に求めた配置可能領域に対して Voronoi 図

を描いたものであり，Voronoi 点の中で配置可能領域から最も遠い Voronoi 点を黒点で示している．図 5(b) はラベルの参照点が先ほど求めた Voronoi 点と一致するように平行移動したものである．このときラベルは領域の各辺から最も遠い場所にあることが分かる．



(a) Voronoi 図　　(b) ラベル配置

図 5: ラベル配置の例

4. 1 つの島群に対するラベル配置アルゴリズム

上記で説明した領域に対するラベル配置アルゴリズムを，1 つの島群に対するラベル配置問題に応用する．このときラベルを配置する領域として，島群全体を囲む凸包を使用する．さらに各島をラベル配置不可能領域として設定し，島群全体を囲む凸包の内部で島と重ならない位置にラベルを配置する問題を考える．以下ではこの問題に対するアルゴリズムを説明する．

図 6 の灰色の多角形で近似した島群と，破線の長方形で表されるラベルが入力されたとする．島群全体を囲む凸包をラベルを配置する領域，各島をラベル配置不可能な領域として領域に対するラベル配置アルゴリズムを適用する．

島群を含む凸包を P，島とは重ならないようにラベル

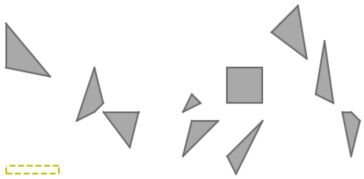


図 6: 島群とラベル

を配置するため，島群の集合を配置不可能な領域，ラベルを表す多角形を L とする (図 7 参照)．まず図 8(a) の赤線

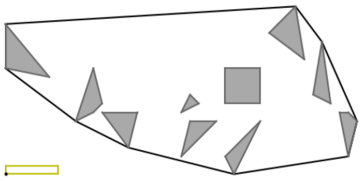
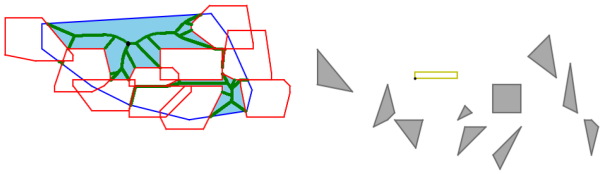


図 7: P(黒線) と H(灰色) と L(黄色)

で示すように各島に対して，ラベルとの minkowski 和の集合 H を作成しすべての島に対する H の和集合を H_M とする．$C = P - H_M$ とすると C は P 内で島と重ならずにラベルを配置できる領域となる． 図 6 の入力に対して領域 C を計算したものを図 8(a) の青い領域で示す．図 8(a) のように，C の境界部分のすべての線分に対して，Voronoi 図を作成する．Voronoi 図の Voronoi 点のいずれかは C の各線分から最も遠い場所にあるため，その点にラベルの参照点を一致させるようにラベルを平行移動すると，領域 P と領域の集合 H から最も遠い位置かつどの領域にも重ならない位置にラベルを配置することができる．



(a) 共通の領域と P-ユークリッド Voronoi 図　　(b) ラベル配置場所

図 8: 配置可能領域の例

上記のボロノイ図をもとに，最適なラベル配置場所にラベルを配置したものを図 8(b) に示す．図 8(b) に示すように，上記のアルゴリズムで領域内にラベルを配置することで，P と H の各領域の境界から最も遠い場所にラベルを配置できることが分かる．このようにアルゴリズムを適用することで，入力された島群の最適な位置にラベルを配置することができる．

5. 複数の島群に対するラベル配置問題への応用

複数の島群に対するラベル配置問題に対して，前述のアルゴリズムを適用する方法を考える．前述のアルゴリズムでは配置対象となる領域が存在し，その領域の内部の空きスペースにラベルを配置していた．これを利用するために，まず複数の島群の位置をもとに，ラベル配置対象となる島群の近くにラベルを配置できるような配置可能領域を作成する．その後，前述のアルゴリズムを適用することで，島群までの距離が近く，島に重ならない場所にラベルを配置することができると考えた．

以下では図 9 に表す島群に対してラベルを配置する領域である支配領域をまず定め，その中でラベルを配置する位置を探すことにする．図 9 では緑色で描かれている領域がラベル配置対象の島群であり，黒色で描かれている領域がラベル配置対象ではないいくつかの近隣の島群とする．

5.1 島群の支配領域

ラベル配置対象の各島群に対して，他の島群より近い領

図 9: 複数の島群

域と対象の島群からの距離が近い領域を求め，それをもとに支配領域を定める．これに対して 1 つの島群に対するラベル配置アルゴリズムを適用する．これにより島の数や位置に関係なく適切な位置にラベルを配置することができる．以下では支配領域の作成に使用するいくつかの領域を定義した後に，それらを用いた島群の支配領域の作成方法について述べる．

5.1.1 島群の Voronoi 領域

島群 i を構成する頂点の集合を IN_i とする．頂点集合 IN_i に対して次の式で定義される領域 $V(i)$ を作成する．

$$V(i) = \bigcup_{p_i \in IN_i} \bigcap_{q \in \cup_{j \neq i} IN_j} \{p | d(p, p_i) \leq d(p, q)\}$$

上記の式で定義される領域は，頂点に対する Voronoi 図のうち，同じ島群を構成する頂点同士を分割する境界を排除したものと等しくなる．つまり同じ島群を構成する頂点から最も近い領域を表している．この領域を島群 i に対する Voronoi 領域という．これを島群の支配領域として，領域内部にラベルを配置するアルゴリズムを適用すると，ラベル配置対象の島群から最も近い場所にラベルを配置することが可能となる．しかし，この Voronoi 図では各島群を分割する領域が有限ではないの場合や有限の場合でも領域の境界が島群から離れている可能性がある．この領域を考えるだけでは，ラベルが島群から遠い場所に配置されてしまう可能性がある．このような事態を防ぐために，この領域とは別に島群とラベルとの距離を制限する領域を作成し，2 つの領域の共通領域を作成する．

5.1.2 島群とラベルとの距離を制限する領域

ラベルを島群の近くに配置するために，島群とラベルとの距離を制限する領域を作成する．本研究では長方形を使用して領域の拡張を行い，領域の周囲にラベル配置可能な大きさの領域を作成する．この領域は Minkowski 和を応用して作成することができる．本研究ではラベルの大きさによって使用する長方形の大きさを変更する．島群とラベルの距離を制限する領域を作成するために，各島全体を囲む凸包を作成し，それを拡張することで，島と島の間の空き領域にもラベルを配置できるようにした．実際に作成した領域を図 10 に青線で示している．このとき領域の拡張には図 10 に破線で示した長方形を使用している．

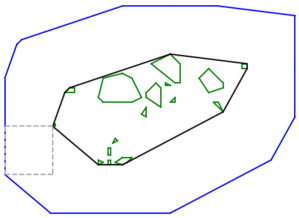


図 10: 島群とラベルの距離を制限する領域

5.2 アルゴリズム

同じ島群を構成する頂点に対する Voronoi 図の中で，対象の島群が含まれている領域を取り出す．この領域と島群とのラベルの距離を制限する領域の共通領域を支配領域とする．図 11 は実際に対象となる島群に対して島群の支配領域を作成したものである．作成した領域を支配領域，各島を配置不可能領域として，1 つの領域に対するラベル配置アルゴリズムを適用する．このようなアルゴリズムを適用することにより，ラベル配置対象となる島群の近くかつ空いている領域にラベルを配置することができる．図 12 はアルゴリズム適用後，実際にラベルを配置した例である．

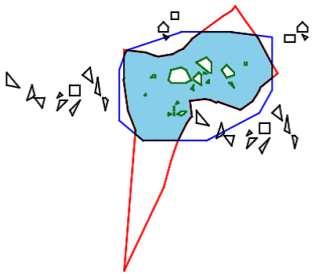


図 11: 支配領域

図 12: 複数の島を考慮したラベル配置例

6. 計算機実験

前述のアルゴリズムで配置したラベルと実際の地図に配置されているラベルを比較し，アルゴリズムの実用性の検証を行う．

6.1 地図データ

実験に使用するデータは国土地理院の作成している地理院地図 [5] を使用する．島群の大きさにあまり差がなく，ある程度密集している島群として，実験には図 13 に示すように九州地方周辺の島群のデータを使用する．図 13 に示した地図には，九州本土，五島列島，甑島列島，天草諸島，男女群島，宇治群島，草垣群島の 7 つの島や島群が存在する．ここではそれら 7 つの島群に対してラベル配置を行い，実用性の検証を行う．ラベルの大きさはすべて水平方向で固定し，ラベルの大きさは実際の地図のラベルの大きさに合わせている．

図 13: 九州地方の島群とラベル

6.2 実行結果

図 14 に示すように，九州地方の島群のみを抽出して実験を行った．図 15 の青い領域はそれぞれの島群の支配領域を表している．支配領域の作成には，ラベルと相似な長方形を使用した．図 16 は実際に支配領域内で，すべての領域の境界から最も遠い場所にラベルを配置したものであり，図 17 は島群と最適なラベルを表したものである．

6.3 考察

九州地方の地図で実験を行った結果，図 17 に示すように，7 つの島や島群のうち 2 つの島群にラベルを配置することができなかった．配置されていない島群に対する理想的なラベルを破線で示している．図 16 を見るとラベルが貼られていない島群の支配領域が小さく，島群を避けてラベルを配置できる領域がないことがわかる．このように島群が密集した場所で島群より大きいラベルを配置する際にはより大きい支配領域を作成しなければいけないことが分かる．本実験ではラベルは実際の地図の大きさと同様の物を使用したが，島群に合わせてラベルの大きさを変更する

図 14: 九州地方

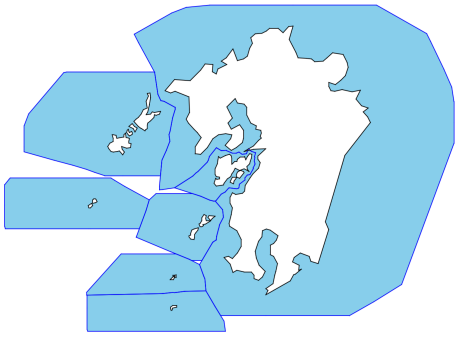


図 15: それぞれの島群の支配領域

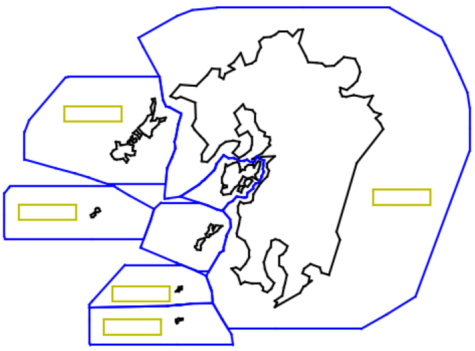


図 16: 支配領域とラベル配置の結果

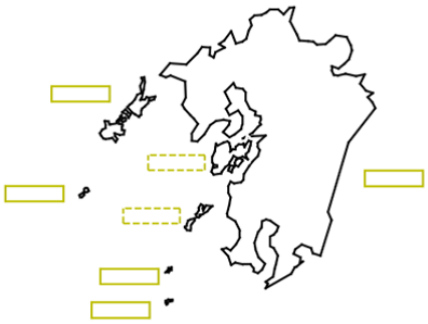


図 17: ラベル配置の結果

ことですべての島群に最適なラベルを配置できると考える．また島群に合わせてラベルの方向を変えることで，より島群が密集した状態でも最適なラベルが配置できると考える．

7. おわりに

アルゴリズムを適用することにより，複数の島群に対して最適な位置にラベルを配置することができた．本アルゴリズムでは，島群を構成する頂点から最も近い領域を作成して，ラベルの支配領域を作成している．しかし頂点から最も近い領域は島群の各辺と交差してしまう可能性があるため，支配領域内に別の島群の一部が入り込んでしまう可能性がある．次にラベルがある程度大きいと，支配領域内部にラベルが配置できない場合がある．この場合，島群の支配領域を拡張してラベルを配置するか，ラベルを小さくしてラベルを配置する必要がある．また本アルゴリズムでは複数の島群に対して一つずつラベルを配置しているため，先に配置されたラベルによって後から配置するラベルの支配領域が極端に小さくなってしまう可能性がある．そのため複数の島群に対して，同時にラベルを配置する手法を検討する必要がある．

謝辞　本研究の一部は科学研究費補助金 20K116822 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] Hiroshi Imai, Keiko Imai, and Takeshi Tokuyama, “Maximin location of convex objects in a polygon and related dynamic Voronoi diagrams,” *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol2, No. 1, pp.45–58, 1999.

[2] J.A. Miller, D. O’Sullivan, D.Wiegand, “Circle in the Water: Towards Island Group Labeling,” *Proc. of the 9th International Conference on Geographic Information Science(GIScience)*, pp.293–307, 2016.

[3] JOSEPH O’ROURKE, “THE COMPUTATIONAL GEOMETRY IN C SECOND EDITION,” PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, 1998.

[4] M. van Kreveld, T. Schlechter. “Automated label placement for groups of islands,” *Proc. of the 22th International Cartographic Conference*, 2005.

[5] 地理院地図, https://maps.gsi.go.jp/#8/32.461109/129.583740/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1, 2021.

ⓒ 2022 Information Processing Society of Japan